谷氨酰胺对脂多糖应激仔猪生长性能及血清生化指标的影响

田军权[1,2] 何流琴[1,2] 黄 牛[3] 李 欢[3] 崔志杰[4] 李 思[3] 姚 康[1*]

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室，湖南省畜禽健康养殖工程技术中心，农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站，长沙 410125；2.中国科学院大学，北京 100049；3.湖南农业大学动物科学技术学院，长沙 410128；4.湘潭大学，湘潭 411105)

摘 要：本试验旨在研究饲粮中添加谷氨酰胺（Gln）对断奶仔猪不同阶段生长性能的影响，以及其对脂多糖（LPS）诱导肠道损伤后断奶仔猪血清生化指标和生长性能的影响。选用 24 头 28 日龄健康的“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪，随机分为 3 组，每组 8 个重复，每个重复 1 头猪。对照组和 LPS 组饲喂基础饲粮，Gln+LPS 组饲喂添加了 1%的外源性 Gln 的基础饲粮；在试验第 22、25、28、30 天，LPS 组和 Gln+LPS 组腹腔注射 100 μg/kg BW LPS，对照组则注射相同剂量的生理盐水。试验期 30 d。结果表明：1）LPS 处理前（试验第 1~21 天），与对照组相比，Gln+LPS 组显著提高了试验第 1~7 天断奶仔猪的平均日采食量（ADFI）和平均日增重(ADG)（$P<0.05$），显著提高了试验第 8~14 天和第 1~21 天断奶仔猪的 ADFI（$P<0.05$）。2）LPS 处理后（试验第 22~30 天），对照组断奶仔猪的 ADFI、ADG、第 30 天体重均显著高于 LPS 组和 Gln+LPS 组（$P<0.05$），Gln+LPS 组断奶仔猪的 ADFI、ADG、第 30 天体重均高于 LPS 组($P>0.05$)。3)LPS 组断奶仔猪的小肠长度显著低于对照组和 Gln+LPS 组（$P<0.05$），而对照组和 Gln+LPS 组之间无显著差异（$P>0.05$）。4）与对照组相比，Gln+LPS 组断奶仔猪的血清高密度脂蛋白胆固醇（HDLC）含量和碱性磷酸酶（ALP）活性显著降低（$P<0.05$），而 Gln+LPS 组与 LPS 组之间无显著差异（$P>0.05$）；Gln+LPS 组和 LPS 组断奶仔猪的血清免疫球蛋白 M（IgM）含量显著提高（$P<0.05$）。由此可见，饲粮中添加 1%的 Gln 能够显著提高仔猪断奶后第 1~7 天的生长性能，之后效果不明显。饲粮中添加 1%的 Gln 能够调节应激仔猪的血清生化指标，改善其生长性能和小肠长度，从而缓解仔猪断奶应激。

关键词：谷氨酰胺；仔猪；脂多糖；生长性能；血清生化指标

中图分类号：S828

研究表明，哺乳仔猪因自身合成的谷氨酰胺（Gln）不能满足机体需求，且消化道发育不完善，外加早期断奶应激的影响，导致了仔猪获取外源性 Gln 的能力较弱[1]，因此，断奶仔猪饲粮中及时补充外源性 Gln 显得尤为重要。据相关研究报道表明，Gln 作为条件性必需氨基酸，参与多条代谢途径，是合成鸟氨酸、瓜氨酸、脯氨酸和精氨酸的前体物质，其不仅可以刺激细胞生长和抗体产生，而且是肠道细胞能量的主要来源[2]。刘巧婷等[3]研究发现，

收稿日期：2016-11-01

基金项目：国家 973 课题(2013CB127301)；中科院百人计划项目；国家自然科学基金面上项目(31472107)

作者简介：田军权（19**—），男，河南商丘人，博士研究生，研究方向为动物生态营养与分子生物学。E-mail: 2522251024@qq.com

*通信作者：姚 康，研究员，博士生导师，E-mail： yaokang@isa.ac.cn

饲粮中添加不同水平的 Gln 提高了保育猪的生长性能，并以 1.0%添加水平为最优。陈静等[4]研究发现，饲粮中添加 Gln 能够缓解免疫应激对仔猪断奶 7 d 后生长性能的影响。尽管国内外学者对 Gln 缓解仔猪断奶应激的研究已经取得了很多成果，但关于 Gln 缓解仔猪断奶后期（21 d 后）应激的研究报道较少，特别是 Gln 对早期断奶仔猪在外界直接刺激产生免疫应激的研究并不多[5]。因此，本研究拟通过饲喂添加 1%DGln 的饲粮并在断奶后期多次腹腔注射肠道杆菌系脂多糖（LPS）建立仔猪应激模型，研究 Gln 对断奶仔猪不同时期生长性能的影响，以及其对 LPS 诱导应激后断奶仔猪后期生长性能和血清生化指标的影响，以期为生产实践提供一定的理论指导依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选取 24 头 28 日龄健康的“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪[体重（6.24±0.25） kg]，随机分为 3 组，每组设 8 个重复（公母各占 1/2），每个重复 1 头猪。整个试验期内，对照组和 LPS 组饲喂基础饲粮，Gln+LPS 组饲喂添加了 1%的外源性 Gln 的基础饲粮；在试验第 22、25、28、30 天，LPS 组和 Gln+LPS 组腹腔注射 100 μg/kg BW LPS，对照组则注射相同剂量的生理盐水。试验第 30 天进行前腔静脉采血并屠宰。试验在中科院亚热带农业生态研究所动物房进行，试验采用单笼饲养，粉料饲喂，自由采食和饮水，消毒、免疫按照猪场常规程序进行，试验期间记录采食量、体重。仔猪在 28 日龄断奶，转入动物房实验室，适应期为 3 d，之后进入正试期，试验期 30 d。

1.2 试验材料与基础饲粮

试验用 Gln 有效成分含量为 99.5%，购自武汉远成共创科技有限公司。LPS 购自美国 Sigma 公司，型号为 *E. coli* serotype 055:B5。基础饲粮按照 NRC(2012)饲养标准配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
膨化玉米 Expanded corn	27.00
膨化大豆 Extruded soybean	15.50
玉米淀粉 Maize starch	25.00
乳清粉 Dried whey	10.00
血浆蛋白粉 Plasma protein powder	4.00
乳化油粉 Emulsified oil powder	2.50
鱼粉 Fish meal	5.00
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.70
蛋氨酸 Met	0.20
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.30
色氨酸 Trp	0.05
白糖 White sugar	4.00

葡萄糖 Glucose	2. 50
石粉 Limestone	0. 50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0. 70
预混料 Premix[1)]	1. 00
酸化剂 Acidifier	0. 90
抗氧化剂 Antioxidant	0. 05
防霉剂 Fungicide	0. 10
合计 Total	100. 00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(kJ/kg)	3. 30
粗蛋白质 CP	20. 00
赖氨酸 Lys	1. 55
蛋氨酸 Met	0. 65
苏氨酸 Thr	0. 95
色氨酸 Trp	0. 25
钙 Ca	0. 75
有效磷 AP	0. 30

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 10 800 IU，VD_3 4 000 IU，VE 40 IU，VK_3 4 mg，VB_1 6 mg, VB_2 12 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.05 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 2 mg，尼克酸 niacin 50 mg，*D*-泛酸钙 *D*-calcium pantothenate 25 mg，Fe (as ferrous sulfate) 100 mg，Cu (as copper sulfate) 150 mg，Mn (as manganese sulfate) 40 mg，Zn (as zinc sulfate) 100 mg，I (as potassium iodide) 0.50 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg。

[2)] 消化能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 检测指标

试验期间记录采食量，在试验第 1、7、14、21、30 天空腹称量仔猪重量，计算平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

试验仔猪在第 30 天屠宰，屠宰前进行前腔静脉采血 10 mL，经 4 ℃冰箱静置 30 min 后 3 000 r/min 离心 15 min 分离制备血清，利用全自动生化分析仪测定血清中的碱性磷酸酶（ALP）、谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）、磷酸肌酶激酶（CK）、α-淀粉酶（α-AMY）活性及尿素（UREA）、高密度脂蛋白胆固醇（HDLC）、低密度脂蛋白胆固醇（LDLC）、免疫球蛋白 M（IgM）、葡萄糖（GLU）含量。

屠宰后摘取心脏、肝脏、脾脏、肾脏进行称重记录，摘取小肠测量其长度并记录。

脏器指数=脏器质量/体质量。

1.4 数据统计分析

所有数据采用 SPSS 17.0 统计软件中 ANOVA 过程进行单因子方差分析，P<0.05 为差异显著。

2　结　果

2.1　饲粮中添加 Gln 对断奶仔猪注射 LPS 前后生长性能的影响

由表 2 可知，试验第 1~7 天，Gln+LPS 组的 ADFI 和 ADG 均显著高于对照组（P<0.05），且分别提高了 20%和 34%，F/G 较对照组降低了 16%（P>0.05）。试验第 8~14 天，Gln+LPS 组的 ADFI 显著高于对照组（P<0.05），但 ADG 却降低了 10%（P>0.05），且 F/G 增加 20%（P>0.05）。试验第 15～21 天，3 组间 ADFI、ADG、F/G 均无显著差异（P>0.05）。总的来看，试验第 1～21 天，即 LPS 未处理前，与对照组相比，Gln+LPS 组的 ADFI 显著提高了 11%（P<0.05），但是第 21 天体重、ADG 和 F/G 均无显著差异（P>0.05），F/G 反而增加了 9%（P>0.05）。LPS 处理后的试验第 22～30 天，LPS 组的 ADFI、ADG 和第 30 天体重均显著低于对照组（P<0.05），但是 Gln+LPS 组的 ADFI、ADG、第 30 天体重较 LPS 组分别提高了 12%、17%、7%（P>0.05），F/G 降低了 9%（P>0.05）。整个试验期(第 1～30 天)，LPS 的组仔猪的第 30 天体重显著低于对照组（P<0.05），ADFI、ADG 均低于对照组（P>0.05）；与 LPS 组比较，Gln+LPS 组的 ADFI、ADG 及第 30 天体重分别提高了 7%、12%和 9%（P>0.05），F/G 降低了 5%（P>0.05）。

表 2 谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2　Effects of glutamine on growth performance of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	脂多糖组 LPS group	谷氨酰胺+脂多糖组 Gln+LPS group
第 1～7 天 Day 1 to 7			
第 1 天体重 Body weight on day 1/kg	6.24±0.19	6.24±0.24	6.24±0.16
第 7 天体重 Body weight on day 7/kg	6.79±0.24	6.83±0.2	6.98±0.13
平均日采食量 ADFI/g	181.63 ± 7.82^{b}	207.5 ± 3.28^{a}	217.86 ± 6.81^{a}
平均日增重 ADG/g	92.86 ± 5.13^{b}	100.18 ± 7.85^{b}	124.49 ± 7.5^{a}
料重比 F/G	2.14±0.21	2.12±0.17	1.79±0.09
第 8～14 天 Day 8 to 14			
第 14 天体重 Body weight on day 14/kg	8.4±0.31	8.21±0.18	8.43±0.17
平均日采食量 ADFI/g	319.64 ± 8.83^{b}	321.43 ± 8.1^{b}	350.39 ± 3.84^{a}
平均日增重 ADG/g	230.36±18.2	218.37±17.28	207.14±9.35
料重比 F/G	1.43±0.08	1.52±0.12	1.72±0.09
第 15～21 天 Day 15 to 21			
第 21 天体重 Body weight at day 21/kg	11.09±0.34	11.11±0.25	11.16±0.33
平均日采食量 ADFI/g	532.77±22.13	566.37±6.37	587.78±13.73
平均日增重 ADG/g	383.93±29.26	414.29±20.2	389.8±27.83
料重比 F/G	1.42±0.07	1.38±0.06	1.54±0.09
第 1～21 天 Day 1 to 21			

第 21 天体重 Body weight on day 21/kg	11.09±0.34	11.11±0.25	11.16±0.33
平均日采食量 ADFI/g	343.06±12.22^{b}	365.39±4.34^{ab}	386.14±6.63^{a}
平均日增重 ADG/g	230.95±13.32	240.82±12.64	238.78±13.49
料重比 F/G	1.5±0.06	1.54±0.08	1.64±0.07
第 22～30 天 Day 22 to 30			
第 30 天体重 Body weight on day 30/kg	15.38±0.33^{a}	13.43±0.59^{b}	14.4±0.57^{b}
平均日采食量 ADFI/g	758.04±33.9^{a}	574.83±41.84^{b}	643.35±40.2^{b}
平均日增重 ADG/g	444.45±12.51^{a}	285.04±38.45^{b}	333.33±24.6^{b}
料重比 F/G	1.71±0.09	2.16±0.25	1.96±0.13
第 1～30 天 Day 1 to 30			
第 30 天体重 Body weight on day 30/kg	15.38±0.33^{a}	13.43±0.59^{b}	14.4±0.57^{b}
平均日采食量 ADFI/g	475.13±16	427.16±12.35	466.04±13.53
平均日增重 ADG/g	302.78±9.56	243.33±22.59	271.33±18.72
料重比 F/G	1.57±0.04	1.84±0.18	1.74±0.1

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*＞0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05). The same as below.

2.2 饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后断奶仔猪脏器指数的影响

由表 3 可知，与对照组相比，LPS 组的心脏指数、肝脏指数、脾脏指数、肾脏指数分别提高了 9%、33%、37%、8%，均无显著差异（*P*>0.05）。Gln+LPS 组的心脏指数、肝脏指数、脾脏指数、肾脏指数比 LPS 组分别降低了 10%、19%、12%、4%，均无显著差异（*P*>0.05）。

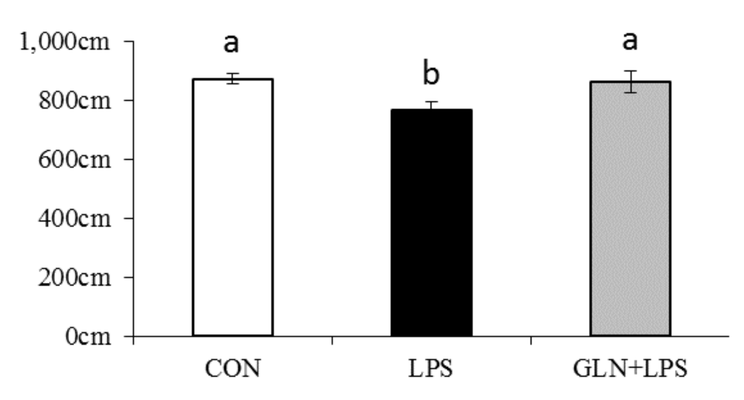
表 3　谷氨酰胺对断奶仔猪脏器指数的影响

Table 3　Effects of glutamine on organ index of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	脂多糖组 LPS group	谷氨酰胺+脂多糖组 Gln+LPS group
心脏指数 Cardiac index	0.004 4±0.000 3	0.004 8±0.000 2	0.004 3±0.000 3
肝脏指数 Liver index	0.024 0±0.001 0	0.032 0±0.002 1	0.026 0±0.002 0
脾脏指数 Spleen index	0.001 9±0.000 1	0.002 6±0.000 3	0.002 3±0.000 2
肾脏指数 Renal index	0.005 1±0.000 3	0.005 5±0.000 3	0.005 3±0.000 2

2.3 饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后断奶仔猪小肠长度的影响

由图 1 可以看出，LPS 组小肠长度显著低于对照组，但 Gln+LPS 组与对照组之间无显著差异（*P*>0.05），并且对照组和 Gln+LPS 组的小肠长度均显著高于 LPS 组（*P*<0.05）。



数据柱标注不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。

Value columns with different small letters mean significant difference (P<0.05).

图 1　谷氨酰胺对断奶仔猪小肠长度的影响

Fig.1　Effects of glutamine on small intestinal length of weaned piglets

2.4　饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后断奶仔猪血清生化指标的影响

由表 4 可知，与对照组相比，LPS 组血清 ALP 活性降低了 16%（P>0.05），Gln+LPS 组血清 ALP 活性显著降低了 32%（P<0.05）。Gln+LPS 组血清 HDLC 含量较对照组显著降低了 29%（P<0.05），但 LPS 组血清 HDLC 含量与对照组无显著差异（P>0.05）。与对照组相比，Gln+LPS 组和 LPS 组血清 IgM 含量均显著提高（P<0.05），并且 Gln+LPS 组较 LPS 组血清 IgM 含量提高了 16%（P>0.05）。3 组血清 UREA、LDLC、GLU 含量及 ALT、AST、CK、α-AMY 活性均无显著差异（P>0.05）。

表 4　谷氨酰胺对断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 4　Effects of glutamine on serum biochemical parameters of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	脂多糖组 LPS group	谷氨酰胺+脂多糖组 Gln+LPS group
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	349.41±32.11^{a}	295.06±29.32^{ab}	236.03±13.57^{b}
尿素 UREA/(mmol/L)	3.39±0.25	3.5±0.24	2.91±0.15
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	105.19±6.68	84.67±9.66	83.71±4.71
谷草转氨酶 AST/(U/L)	116.06±12.93	91.78±20.94	70.51±5.47
高密度脂蛋白胆固醇 HDLC/(mmol/L)	0.76±0.05^{a}	0.69±0.02^{ab}	0.54±0.06^{b}
低密度脂蛋白胆固醇 LDLC/(mmol/L)	1.26±0.09	1.12±0.09	0.99±0.09
磷酸肌酸激酶 CK/(U/L)	2 911.03±575.76	2 036.09±621.09	1 094.7±136.08
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	0.35±0.03^{b}	0.49±0.03^{a}	0.57±0.06^{a}
α-淀粉酶 α-AMY/(U/L)	2 850.85±287.33	2 578.85±140.63	2 791.82±159.95
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.72±0.43	4.63±1.06	4.8±0.38

3　讨　论

3.1　饲粮中添加 Gln 对断奶仔猪注射 LPS 前后生长性能的影响

据研究报道，Gln 作为条件性必需氨基酸，也是母猪乳汁中含量最丰富的氨基酸，其对仔猪的生长发育起着非常重要的作用[6]。因早期断奶仔猪胃肠道发育不完善，故消化分

解饲粮获取外源性 Gln 的能力不足，从而导致 Gln 缺乏，影响其生长性能。本研究发现，饲粮中添加 1% Gln 仅能显著提高断奶仔猪前期（断奶后 1 周左右）的生长性能，之后效果不明显。出现这一现象的原因可能是断奶后 1 周左右，饲喂添加了 1% Gln 饲粮的断奶仔猪能够从饲粮中获取足够的外源性 Gln 从而缓解了因断奶造成的内源性 Gln 的不足，从而显著提高了其生长性能。另外，未添加 Gln 组的仔猪 1 周后逐渐适应了断奶后环境，并在断奶 1 周后出现了生长补偿[7]，使得对照组仔猪试验后期的 ADG 和 F/G 得以提高，所以造成试验 1 周后对照组与添加 Gln 组的仔猪生长性能并无显著差异。这一结果与代兵等[8]和刘涛等[9]研究结果基本一致，代兵等[8]还发现饲粮中添加 Gln 能够提高仔猪断奶后 7 d 小肠绒毛的长度，降低隐窝深度，而断奶后 14 d 与饲喂基础饲粮相比，其生长性能和小肠发育差异均不显著，这进一步说明了添加 Gln 仅能显著提高断奶后 1 周左右的生长性能。但张建刚等[10]总结之前的研究报道，发现关于饲粮中添加 1% Gln 的促进生长效果在仔猪断奶后哪个阶段表现更明显的报道并不一致。Wu 等[11]研究发现，饲粮中添加 1%的 Gln 对 28 日龄断奶仔猪前期（21~35 日龄）作用效果不明显，但在断奶后期（21~49 日龄）作用效果显著，这与张建刚等[10]和钱利纯等[12]报道基本一致。另外，杨彩梅等[13]发现添加 1%的 Gln 可显著提高断奶前期和整个试验期的 ADG。这些差异可能与仔猪断奶时的生理状况、断奶之前是否饲喂教槽料及仔猪的断奶日龄有关。众所周知，仔猪生长发育不完善容易受到断奶、营养、免疫、饲养管理等因素的影响产生应激，从而影响仔猪的生长性能。目前，腹腔注射 LPS 是构建仔猪应激的经典模型[14]。本研究中，在试验第 22、25、28、30 天，Gln 组和 LPS 组分别腹腔注射 LPS（100 μg/kg BW），导致这 2 组生长性能显著降低，而添加了 Gln 组的生长性能较未添加组有所改善。这与陈静等[5]报道基本一致，陈静等[5]研究发现，免疫应激使断奶仔猪生长性能下降，而添加 Gln 能够缓解免疫应激对仔猪生长性能的影响。这一结果说明添加 1% Gln 能够缓解仔猪因 LPS 诱导的免疫应激对生长性能造成的影响。

由本研究结果可知，饲粮添加 1%的 Gln 仅能显著提高 28 日龄断奶仔猪断奶后 1 周左右的生长性能，但是在仔猪整个生理期添加 1% Gln 能够缓解应激对仔猪生长性能的影响。因此，在实际生产中，我们可以考虑提高仔猪断奶后前期（1 周左右）饲粮中 Gln 的添加水平，但是在断奶后期 Gln 的添加水平可在一定程度上有所降低。

3.2 饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后断奶仔猪脏器指数和小肠长度的影响

动物机体的器官指数是一种生物学特性指标，在一定程度上决定了器官功能的强弱。陈静等[15]研究发现，免疫应激显著降低了仔猪的脾脏指数和胸腺指数，而添加 Gln 显著提高了应激仔猪的脾脏指数和胸腺指数，显著缓解了 LPS 诱导应激对仔猪免疫器官的影响。本研究发现饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后心脏、肝脏、脾脏、肾脏的脏器指数均无显著影响，但 LPS 组心脏、肝脏、脾脏、肾脏的脏器指数均高于对照组，而 Gln+LPS 组的心脏、肝脏、脾脏、肾脏的脏器指数低于 LPS 组。这可能是因为注射 LPS 造成的脏器水肿或充血导致内脏器官重量增加，而添加 Gln 能够在一定程度上缓解了注射 LPS 对心脏、肝脏、脾脏、肾脏造成的损伤。据相关报道小肠长度和重量是衡量小肠发育和吸收能力的关键指标，小肠长度越长及小肠吸收表面积越大，小肠消化吸收功能越强，这也预示着小肠免疫功能越完善，发育的越好[16]。代兵等[8]研究发现，饲粮添加 1% Gln 能够显著提高仔猪断

奶后 1 周小肠的重量和绒毛的长度，显著降低隐窝深度。目前研究也表明，饲粮添加 Gln 可提高绒毛高度，减少隐窝深度，进而改进肠道形态，促进肠道发育。本研究中，对照组和 Gln+LPS 组的仔猪小肠长度显著高于 LPS 组，而 Gln+LPS 组和对照组之间无显著差异，这一结果说明添加 Gln 能够有效缓解因 LPS 诱导应激对仔猪肠道发育造成的影响，从而维护了断奶仔猪肠道健康。

3.3 饲粮中添加 Gln 对 LPS 诱导应激后断奶仔猪血清生化指标的影响

血清生化指标是反映机体代谢状况的重要指标，因此通过测定血清中的生化指标可以在一定程度上可以反映动物的健康和生长性能，在动物生产研究中有重要的意义[17]。据相关研究报道，血清中的 IgM 具有免疫和营养的作用，当仔猪收到外界各种抗原的刺激，会激发免疫反应，此时会在短时间内产生较高水平的抗体（球蛋白）用于抵制抗原[18]。叶亚玲等[19]研究表明，饲粮中添加丙氨酸联合 Gln 可提高断奶仔猪小肠黏膜固有层免疫球蛋白 A（IgA）浆细胞数量和分泌型免疫球蛋白 A（SIgA）的分泌量。本研究中，LPS 组和 Gln+LPS 组仔猪血清中 IgM 含量均显著高于对照组，并且 Gln+LPS 组血清中的 IgM 含量较 LPS 组提高了 16%，从这一结果可知饲粮中添加 Gln 可提高血清中抗体蛋白合成水平，从而增强了仔猪抵抗应激的能力。相关报道表明，通常情况下畜禽血清中的 ALP 活性只有在肠道吸收障碍时才表现下降，它是肠道吸收发生障碍时的重要指标[20]。钱利纯等[12]研究发现，断奶应激显著降低了仔猪血清中 ALP 的活性，而添加 Gln 对血清中 ALP 的活性无显著影响。本研究结果显示，LPS 诱导应激后仔猪血清中 ALP 活性显著降低，且添加 Gln 并不会提高其活性。这一结果说明 LPS 应激可能会导致仔猪肠道吸收功能障碍，添加 Gln 未对仔猪血清中 ALP 的活性产生影响。有研究表明，HDLC 能与 LPS 结合，从而具有对抗 LPS 毒性作用，HDLC 与 LPS 结合能够有效的封闭 LPS 的活性中心，竞争性的抑制 LPS 与其受体结合，降低 LPS 对靶细胞的激活作用，减少炎性介质的释放，从而缓解 LPS 引起的免疫炎症反应[21-22]。本研究中，由于注射 LPS 导致 LPS 组和 Gln+LPS 组血清中 HDLC 的含量显著低于对照组，并且 Gln+LPS 血清中 HDLC 的含量较 LPS 组降低了 22%。出现这一结果一方面可能是因为血清中 HDLC 与 LPS 结合导致血清中 HDLC 含量降低，另一方面可能说明饲粮中添加 1% Gln 增强了 HDLC 与 LPS 的结合能力，从而降低了血清中 HDLC 的含量，提高了仔猪对抗 LPS 刺激的能力。因此，添加 1% Gln 能够调节应激仔猪血清相关生化指标，进一步地缓解仔猪应激反应。

4 结 论

① 饲粮中添加 1%的 Gln 仅能够显著提高仔猪断奶后 1 周的生长性能，之后效果不明显。

② 饲粮中添加 1%的 Gln 能够提高应激仔猪的血清中 IgM 的含量并降低 HDLC 的含量，改善其生长性能和小肠长度，从而缓解仔猪应激。

参考文献：

[1] 王继强,赵中生,龙强,等.断奶仔猪的生理特点及降低腹泻的营养调控措施[J].广东饲

料,2007,16(1):42–44.
[2] 唐倩,李吕木,丁维民.谷氨酰胺对肠道营养与健康的影响[J].饲料博览,2015(2):11–16.
[3] 刘巧婷,何若钢,刘谨,等.谷氨酰胺对保育猪生长性能、免疫器官及其小肠形态学发育程度影响的研究[J].饲料工业,2014,35(15):35–40.
[4] 陈静,刘显军,张飞,等.谷氨酰胺对免疫应激仔猪生产性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医:科技版,2010(2):61–62.
[5] 杨淑芬,方热军.谷氨酰胺在动物生产中的应用研究[J].广东饲料,2015,24(12):27–28.
[6] WU G,KNABE D A.Free and protein-bound amino acids in sow's colostrum and milk[J].The Journal of Nutrition,1994,124(3):415–424.
[7] 刘永功,杜伦,杨胜,等.3 周龄与 6 周龄断奶仔猪生产性能的比较[J].中国畜牧杂志,1990,26(1):19–21.
[8] 代兵,邹思湘,陈够芬,等.谷氨酰胺对早期断奶仔猪生长性能及肠道形态发育的影响[J].畜牧与兽医,2011,43(11):7–11.
[9] 刘涛,彭健.在日粮中添加谷氨酰胺和谷氨酸对断奶仔猪生产性能的影响[J].华中农业大学学报,1999,18(5):457–460.
[10] 张建刚,李文婷,侯玉洁,等.谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能和健康状况的影响[J].养猪,2012(2):25–27.
[11] WU G,MEIER S A,KNABE D A.Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs[J].The Journal of Nutrition,1996,126(10):2578–2584.
[12] 钱利纯,尹兆正,郑根华,等.谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(5):649–653.
[13] 杨彩梅,陈安国.谷氨酰胺对早期断奶仔猪生产性能和小肠消化酶活性的影响[J].中国畜牧杂志,2005,41(6):21–22.
[14] LIU Y L,LI D F,GONG L M,et al.Effects of fish oil supplementation on the performance and the immunological,adrenal,and somatotropic responses of weaned pigs after an *Escherichia coli* lipopolysaccharide challenge[J].Journal of animal science,2003,81(11):2758–2765.
[15] 陈静,刘显军,张飞,等.谷氨酰胺对免疫应激仔猪免疫器官指数的影响[J].中国兽医杂志,2010,46(9):3–5.
[16] 董泾青,董琦,刘茂玲.新型早产猪短肠综合征模型的建立[J].中国普外基础与临床杂志,2015,22(9):1052–1056.
[17] 周玉香,吕玉玲,王洁,等.血液生化指标在动物生产与营养调控研究中的应用概况[J].畜牧与饲料科学,2012,33(5):72–74.
[18] MORRILL J L,MORRILL J M,FEYERHERM A M,et al.Plasma proteins and a probiotic as ingredients in milk replacer[J].Journal of Dairy Science,1995,78(4):902–907.
[19] 叶亚玲,王自蕊,游金明,等.丙氨酰-谷氨酰胺对断奶仔猪小肠黏膜固有层免疫球蛋白 A 浆细胞数量、分泌型免疫球蛋白 A 及黏膜中白细胞介素含量的影响[J].动物营养学报,2015,27(1):59–66.
[20] 王秋颖.碱性磷酸酶特性及其应用的研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(1):157–161.
[21] LEVELS J H M,ABRAHAM P R,VAN DEN ENDE A,et al.Distribution and kinetics of lipoprotein-bound endotoxin[J].Infection and Immunity,2001,69(5):2821–2828.
[22] KITCHENS R L,WOLFBAUER G,ALBERS J J,et al.Plasma lipoproteins promote the release of bacterial lipopolysaccharide from the monocyte cell surface[J].The Journal of Biological Chemistry,1999,274(48):34116–34122.

Effects of Glutamine on Growth Performance and Serum Biochemical Parameters of Lipopolysaccharide Challenged Piglets

TIAN Junquan[1,2] HE Liuqin[1,2] HUANG Niu[3] LI Huan[3] CUI Zhijie[4] LI Si[3] YAO Kang[1*]

(1. *Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Provincial Engineering Research Center of Healthy Livestock, Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China;* 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China;* 3. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China;* 4. *Xiangtan University, Xiangtan,* 411105, *China)*

Abstract: The objective of the study was to evaluate the effects of dietary glutamine (Gln) supplementation on growth performance in the different stages, and the effects of Gln on growth performance and serum biochemical parameters after intestinal injury induced by lipopolysaccharide (LPS) of weaned piglets. Twenty-four cross-bred (Duroc×Landrace×Yorkshire) piglets weaned at 28 days of age were randomly assigned into 3 groups with 8 replicates per group and 1 pig per replicate. Pigs in the control group and LPS group were fed the basal diet, and the others in the Gln+LPS group were fed the basal diet supplemented with 1% exogenous Gln. On day 22, 25, 28 and 30 of the trial, piglets in the LPS and Gln+LPS groups were administered intraperitoneally with 100 μg/kg LPS, whereas pigs in the control group were injected intraperitoneally with the same volume of sterile saline. The experiment lasted for 30 days. The results showed as follows: 1) before LPS challenge （day 1 to 21 of the trial）, compared with the control group, the average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG) of weaned piglets in Gln+LPS group were significantly increased on day 1 to 7 of the trial (P<0.05), the ADFI of weaned piglets in Gln+LPS group were significantly increased on day 8 to 14 and 1 to 21 of the trial (P<0.05). 2) After LPS challenge（day 22 to 30 of the trial）, the ADFI, ADG and body weight on day 30 of weaned piglets in control group were significantly higher than those in LPS and Gln+LPS groups (P<0.05), the ADFI, ADG and body weight on day 30 of weaned piglets in Gln+LPS group were higher than those in LPS group (P＞0.05). 3) The small intestine length of weaned piglets in LPS group was significantly lower than that in control and Gln+LPS groups (P<0.05), but there was no difference between the control group and Gln+LPS group (P>0.05). 4) Compared with the control group, the high density lipoprotein cholesterol content and alkaline phosphatase activity in serum of weaned piglets in Gln+LPS group were significantly decreased (P<0.05), but there was no difference between the Gln+LPS group and LPS group (P>0.05); the serum immunoglobulin M content of weaned piglets in Gln+LPS and LPS groups was significantly increased (P<0.05). The results indicate that dietary supplemented with 1% Gln can improve the growth performance of piglets after weaning 1 to 7 day, and then it is not obvious. Dietary supplemented with 1% Gln can regulate the serum biochemical parameters; improve the growth performance and small intestine length of piglets, thereby alleviating weaning stress.

Key words: glutamine; weaned piglets; LPS; growth performance; serum biochemical parameters

---

*Corresponding author, professor, E-mail: yaokang@isa.ac.cn（责任编辑　武海龙）